

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE VETERINARIA**

**DEGRADABILIDAD RUMINAL DEL GRANO DE SORGO: DIFERENCIA  
ENTRE DOS GENOTIPOS Y EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES  
TRATAMIENTOS A LA COSECHA**

Por

**Eduardo MELOGNIO GEYMONAT  
Rodrigo ORTIZ HOWE**



**TESIS DE GRADO presentado como uno de  
los requisitos para obtener el título de  
Doctor en Ciencias Veterinarias  
(Orientación Producción)**

**MODALIDAD Ensayo Experimental**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2007**

070 TG  
Degradabilidad  
Melognio Geymonat, Eduardo



FV/27381

**TESIS DE GRADO aprobado por:**

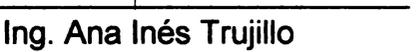
**Presidente de Mesa:**

  
Dr. Eduardo Blanc

**Segundo Miembro (Tutor):**

  
Dr. José Luis Repetto

**Tercer Miembro:**

  
Ing. Ana Inés Trujillo

**Co Tutor:**

  
Dra. Cecilia Cajarville

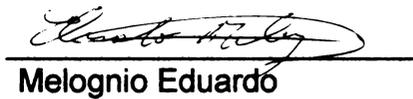
**Co Tutor:**

  
Dra. Ana Curbelo

**Fecha:**

28/10 / 2007

**Autores:**

  
Melognio Eduardo

  
Ortiz Rodrigo

## **AGRADECIMIENTOS**

**A nuestras familias por su incondicional apoyo.**

**A la Dra Ana Curbelo por su invaluable ayuda en la elaboración de éste trabajo.**

**A los Dres. Jose L. Repetto y Cecilia Cajarville por su tutoría y apoyo y por brindarnos la oportunidad de poder realizar éste trabajo en el Departamento de Nutrición.**

**A todos los integrantes del Departamento de Nutrición Animal (Martin Aguerre, Alejandro Britos, Sebastián Brambillasca, Santiago Monteverde, Daniel Garín y Analía Perez por brindarnos su ayuda.**

**Al personal del Campo Experimental N° 2 (Libertad) de la Facultad por su ayuda en el trabajo de campo.**

## **TABLA DE CONTENIDO**

	Página
<b>PÁGINA DE APROBACIÓN</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE TABLAS Y FIGURAS</b>	<b>IV</b>
<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>2. SUMMARY</b>	<b>2</b>
<b><u>3. INTRODUCCIÓN</u></b>	
3.1 DEGRADABILIDAD RUMINAL DE LOS CEREALES	3
3.1.1 <u>Degradabilidad del almidón</u>	5
3.1.2 <u>Degradabilidad de la proteína</u>	6
3.2 FACTORES QUE AFECTAN LA DEGRADABILIDAD RUMINAL DEL GRANO DE SORGO	7
3.2.1 <u>Contenido de Taninos en el Grano de Sorgo</u>	7
3.2.2 <u>Momento de cosecha</u>	8
3.2.3 <u>Aplicación de diferentes procesamientos</u>	8
<b><u>4. OBJETIVOS</u></b>	<b>11</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL	11
4.2. OBJETIVOS PARTICULARES	11
<b><u>5. MATERIALES Y MÉTODOS</u></b>	<b>12</b>
5.1. COLECCIÓN DE MUESTRAS	12
5.1.1 <u>Ensayo I</u>	12
5.1.2 <u>Ensayo II</u>	12
5.2. METODOLOGÍA	14
5.2.1 <u>Degradabilidad Ruminal</u>	14
5.2.2 <u>Análisis Químico</u>	14
5.2.3 <u>Análisis Estadístico</u>	15
<b><u>6. RESULTADOS</u></b>	<b>16</b>
6.1. ENSAYO I	16
6.2. ENSAYO II	18
<b><u>7. DISCUSIÓN</u></b>	<b>21</b>
7.1 ENSAYO I	21
7.2 ENSAYO II	23
<b><u>8. CONCLUSIONES</u></b>	<b>25</b>
<b><u>9. BIBLIOGRAFIA CITADA</u></b>	<b>26</b>

## **LISTA DE TABLAS Y FIGURAS**

FIGURA N° 1	5
FIGURA N° 2	17
FIGURA N° 3	21
TABLA N° 1	13
TABLA N° 2	16
TABLA N° 3	18
TABLA N° 4	19
TABLA N° 5	20
TABLA N° 6	21

## 1 .RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la degradabilidad de diferentes genotipos de granos de sorgo y distintos tratamientos a la cosecha. En un primer ensayo se evaluaron dos genotipos de granos (altos y bajos en taninos) en dos momentos de cosecha: cosechado temprano (conservado como ensilado de grano húmedo con aproximadamente 35% de humedad) y cosechado tardío (conservado como grano seco con 14% de humedad). En un segundo ensayo se estudió la degradabilidad de un genotipo de grano de sorgo alto en taninos (ensilado grano húmedo con 35% de humedad) con el agregado de dos aditivos: ácido acético comercial al 1% y urea comercial al 4%. La degradabilidad ruminal de la materia seca (MS) y la proteína bruta (PB) fueron estudiadas mediante la técnica *in situ*, utilizando 3 vacas Holando con cánula ruminal. La degradabilidad efectiva de la MS y la PB a una tasa de pasaje de 6% (DE06) fue mayor para los granos húmedos ( $P<0.0001$ ). Los sorgos con genotipo bajo en taninos tuvieron una mayor DE para los granos secos. La DE06 de la MS del grano ensilado húmedo fue de 65,19 y 65,25% para los genotipos bajos y altos en taninos respectivamente, mientras que para los granos secos fue de 47,35 y 44,07% ( $P<0.0001$ ). El agregado de aditivos (urea y ácido acético) no provocó un aumento en la DE en los granos de sorgo de genotipos con alto contenido en taninos y ensilados húmedos.



## 2. SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the degradability of different genotypes of sorghum grain and different harvesting treatments. In a first trial two genotypes (high and low in tannins) of grain were evaluated in two harvest times: early harvested (35% moisture sorghum grain silage) and late harvested (harvested with 14% moisture). In a second trial the degradability of a genotype of ensiled sorghum grain (35% moisture) high in tannins was studied with the addition of two additives: 1% commercial acetic acid and 4% commercial urea. Dry matter (DM) and crude protein (CP) ruminal degradability were studied by the *in situ* method, using 3 Holstein ruminal cannulated cows. The DM effective degradability (6%) of wet grain silage was 65.19 and 65.25% for low and high tannins genotypes respectively, while for the dry grains was 47.35 and 44.07%. Despite there wasn't an increase in the sorghum grain effective degradability without the additive addition, sorghum grain showed higher degradation rates.

### 3. INTRODUCCIÓN

En Uruguay el grano de sorgo es uno de los cereales más utilizados en alimentación animal debido a la adaptación de su cultivo a nuestras condiciones productivas.

El área de siembra se ha incrementado en un 50% en los últimos años. Llegando en la zafra 2005-2006 a una producción de 61300 ton, de las cuales se exportó aproximadamente el 0,5% utilizándose casi su totalidad dentro del país, fundamentalmente en alimentación animal (DIEA, 2006). Según la encuesta 2006-2007 el área de siembra fue de 45000 ha.

En nuestro país el uso de concentrados en establecimientos lecheros a lo largo del año sería de un 15% de la dieta, llegando en algunos períodos o épocas del año a duplicarse o triplicarse éste valor (Chilibroste et al., 2004). Los granos de cereales representan una parte importante de estos concentrados, usándose cereales de invierno o verano, tanto secos como ensilados húmedos.

El principal valor nutritivo de los cereales para los animales radica en el aporte energético, dado fundamentalmente por su contenido en almidón que oscila entre 68 y 72% (de Blas et al., 1995; Huntington, 1997) y son el suplemento más común de la dieta de base forrajera en los rumiantes. A su vez el almidón actúa como sustrato para el crecimiento de los microorganismos ruminales, aumentando por ende los niveles de producción de proteína microbiana de alta calidad para ser aprovechada por el animal (Herrera-Saldanha et al., 1990; Owens et al., 1997).

Son muchos los autores que estudiaron las características de la degradación ruminal de los granos de cereales. Offner et al. (2003) recopilando información de 48 trabajos comunican que la degradabilidad del almidón de cereales y subproductos oscila entre 60 y 95%, siendo los más bajos para granos como el maíz y el sorgo y los más altos para trigo y cebada. Huntington (1997) comunica valores similares, de entre 50 y 94% de degradación en el rumen según el tipo de cereal.

Dentro de los cereales el grano de sorgo se caracteriza por presentar valores de digestibilidad media a alta, siendo variable entre genotipos y momentos de cosecha (Theurer, 1986).

En nuestro país, D'Alessandro et al. (1997) del Departamento de Nutrición de la Facultad de Veterinaria, midiendo la digestibilidad de diferentes tipos de sorgo en cerdos, comunican valores llamativamente bajos (53.6% de digestibilidad real para proteína) para los genotipos identificados como altos en taninos. Más recientemente en un trabajo realizado por Bianco et al. (2000), se obtuvieron los siguientes valores de degradabilidad ruminal de la materia seca: para el grano seco alto en

taninos 44%, alto en taninos húmedo 52% y alto en taninos con urea 46%, mientras que para los bajos en taninos los valores fueron de 51, 64 y 49% respectivamente.

### 3.1. DEGRADABILIDAD RUMINAL DE LOS CEREALES

Los granos de cereales presentan características digestivas que deben tenerse en cuenta al momento de su utilización. Por otro lado, la degradación ruminal varía de forma considerable entre los granos de cereales y puede modificarse con el procesado del grano (de Blas et al., 1995).

Uno de los factores que explica las diferencias de degradabilidad ruminal entre granos de cereales es la estructura anatómica de los mismos que presenta considerables variaciones entre especies. La estructura básica de un grano de cereal incluye las siguientes partes desde afuera hacia adentro: cubierta del grano (testa, pericarpio, nucellus), aleurona, endosperma, germen.

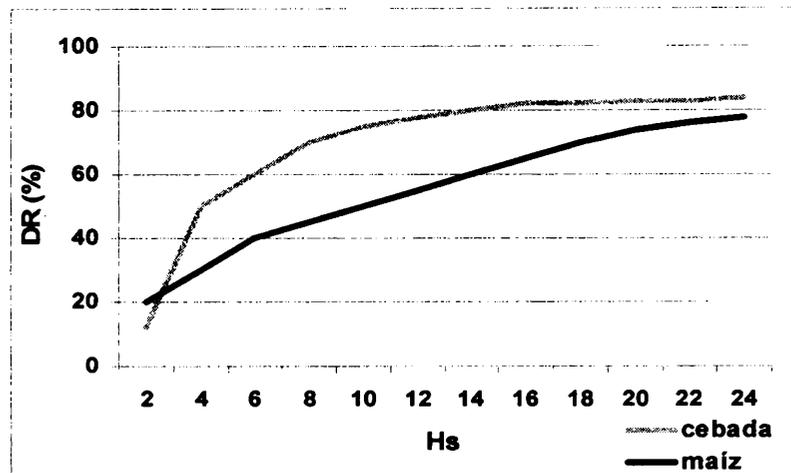
El pericarpio es una estructura de protección y soporte formada por varias capas, la más externa puede acumular cantidades variables de taninos. Estas estructuras de la cubierta del grano representan el primer obstáculo a la degradación ruminal. Un grano entero con un pericarpio intacto es casi totalmente resistente a la digestión por rumiantes por su resistencia al ataque bacteriano (Huntington, 1997). La aleurona está compuesta de una a tres capas dependiendo del cereal, teniendo una alta concentración en proteínas y lípidos (Evers et al., 1999).

Más internamente se encuentra el endosperma que está compuesto por gránulos de almidón envueltos en una matriz proteica. Se diferencian dos tipos, endosperma córneo y harinoso (Huntington, 1997; Evers et al., 1999). Es el tejido más abundante en el grano y cuyo principal componente es el almidón. Este polisacárido está formado por dos macromoléculas (amilosa y amilopectina) que debido a la geometría de los enlaces entre ellas determinan una configuración arrollada favoreciendo la formación de gránulos. Los gránulos de almidón se disponen en el endosperma en dos capas bien diferenciadas: una periférica compuesta por gránulos embebidos en una matriz proteica (endosperma vítreo o córneo) y otra ubicada centralmente con una mayor concentración de almidón que no está embebida en una matriz proteica (endosperma harinoso) (Huntington, 1997).

La participación de estos dos tipos de endosperma en la composición del grano varía en las diferentes especies de cereales, el córneo predomina en maíz y sorgo y el harinoso en trigo y cebada. Estas diferencias estructurales juegan un rol muy importante en las características de degradabilidad ruminal en los distintos cereales.

### 3.1.1. Degradabilidad del almidón

En el rumen el almidón es fermentado a ácidos grasos volátiles, la intensidad de este proceso degradativo es variable y depende de la magnitud de la fracción potencialmente degradable y de su tiempo de retención en el rumen. La digestión en el rumen del almidón puede ser descrita por una cinética de desaparición en este compartimiento (Ørskov y McDonald, 1979).



**Figura 1. Comparación de la cinética de degradación ruminal del almidón del maíz y la cebada adaptada de Guada (1993).**

Gran parte de las diferencias en cuanto a la degradabilidad ruminal de los cereales está explicada por las características del almidón, el cual como ya se mencionó está formado por dos macromoléculas, amilopectina y amilosa las cuales pueden variar su proporción entre las especies y variedades. La amilosa puede variar su proporción de 0 a 20%, teniendo la misma una tasa de digestión más rápida (Huntington, 1997).

La digestión ruminal del almidón se lleva a cabo fundamentalmente por la acción de las bacterias ruminales que tienden a colonizar inicialmente las zonas entre los gránulos de almidón. Este ataque microbiano se ve favorecido cuanto mayor es la proporción de endosperma harinoso, al presentarse en el mismo el almidón más expuesto al ataque microbiano. En el maíz y el sorgo el endosperma harinoso representa un 50% del total del almidón mientras que en el trigo puede llegar hasta un 80%, (de Blas et al., 1995; Evers et al., 1999; Owens y Zinn, 2005).

La digestión inicialmente estaría dada por el almidón contenido en el endosperma harinoso siendo similar para la cebada, maíz y sorgo (Owens y Zinn, 2005). Sin

embargo la menor degradación del maíz y el sorgo es debida mayormente a la resistencia del endosperma córneo a la colonización bacteriana y a su posterior digestión (McAllister et al., 1990).

La degradación ruminal del almidón fue superior para las dietas que contenían granos de maíz con mayor proporción de endosperma harinoso en relación al córneo, obteniéndose un aumento de un 22% en la digestión ruminal del almidón, (Taylor y Allen, 2005).

McAllister et al., (1993) cuando estudiaron el efecto de la matriz proteica del endosperma en la degradación de la cebada y el maíz observaron que la degradación del almidón fue mayor para la cebada, pero cuando separaron los gránulos de almidón de cada cereal no obtuvieron diferencias por lo que se evidenció el efecto que tiene la matriz proteica en la degradación del almidón.

La relación del endosperma córneo con respecto al harinoso se puede ver incrementada con la maduración del grano y la fertilización nitrogenada, que también incrementaría el contenido de proteína cruda del grano de maíz (Owens y Zinn, 2005).

### 3.1.2 Degradabilidad de la proteína

El maíz y el sorgo tienen una mayor proporción de proteínas de reserva (prolaminas y glutelinas), las cuales se caracterizan por una menor solubilidad y una velocidad de hidrólisis más lenta. A su vez poseen una menor proporción de proteínas solubles como son las albúminas y globulinas (de Blas et al., 1995).

La degradabilidad media de las proteínas del trigo o cebada son superiores a la del maíz y el sorgo (70-80 vs 40-45%) (de Blas et al., 1995). Herrera-Saldanha et al., (1990) reportan en cinco cereales: avena, trigo, cebada, maíz y sorgo valores para la degradabilidad de la proteína de 98, 95, 91, 70 y 57% respectivamente.

El grano de sorgo dependiendo del contenido en taninos y su estructura (endosperma) puede tener digestibilidad de la proteína baja, la cual afecta la calidad nutricional del grano (Duodu et al., 2003).

Sobre la degradabilidad de la proteína Ortega et al. (1998), observaron que en el sorgo molido tratado con formaldehído (HCHO) para la protección del almidón y la proteína, la degradación ruminal a las 24 hs fue de 26.73% frente al testigo que fue de 51.92 %.

Montiel y Elizalde (2004), estudiando el efecto de la humedad sobre la degradabilidad ruminal de la proteína de granos de sorgo alto y bajos en taninos, obtuvieron mayores valores de degradabilidad de la proteína para los cosechados con mayor porcentaje de humedad.

## **3.2. FACTORES QUE AFECTAN LA DEGRADABILIDAD RUMINAL DEL GRANO DE SORGO.**

### **3.2.1. Contenido de Taninos en el Grano de Sorgo**

El grano de sorgo posee determinadas características estructurales que lo diferencian de los demás cereales, y que se relacionan con un menor aprovechamiento del grano cuando es utilizado en nutrición animal. El sorgo posee compuestos llamados taninos, los que se clasifican en dos grupos: taninos hidrolizables que post hidrólisis producen carbohidratos y ácidos fenólicos y los taninos condensados los cuales resisten la hidrólisis (Reed, 1995; Evers et al., 1999; Nahara, 2006). A su vez los taninos están presentes en otros vegetales como por ejemplo en el *Lotus corniculatus* y en la alfalfa (*Medicago sativa*), (Wang et al., 1996; Wang et al., 1996).

Los taninos hidrolizables se encuentran presentes en todos los granos de sorgo independientemente de su color. Sólo aquellos que tienen su cubierta pigmentada poseen taninos condensados que representan un factor negativo al considerar su valor nutritivo. Esta pigmentación tiene una coloración marrón-café, que comienza con la maduración del grano (Chessa, 2001).

El principal efecto de los taninos en alimentación animal se debe a la habilidad de formar complejos con varios tipos de moléculas (Nozella, 2001). Según Haslam (1996) citado por Nozella (2001) el complejo que forman con las proteínas es el principal efecto biológico, dependiendo esta unión del pH, de las uniones hidrofóbicas y los puentes de hidrógeno. Los taninos condensados pueden proteger la proteína de la dieta de la degradación ruminal y así aumentar los aminoácidos que llegan al intestino delgado e incrementar su absorción (Wang et al., 1996; Wang et al., 1996).

Según Russell y Lolley (1989) el porcentaje en taninos podría variar de 0.2 a 6.9% dependiendo del híbrido, asociándose los de más alto porcentaje positivamente con algunos atributos agronómicos pero negativamente con la calidad nutricional del grano. Las razones por las cuales en algunas áreas se elige sembrar sorgo con alto contenido en taninos es por el rechazo de los pájaros por su menor palatabilidad y a su vez tendrían una mayor resistencia al deterioro ambiental (Beta et al., 2000; Chessa, 2001).

En el país se siembran distintos genotipos de sorgos que difieren fundamentalmente en lo referente al porcentaje de taninos. A los altos en taninos se los denomina sorgos oscuros o antipájaro mientras que a los bajos en taninos también se los llama sorgos blancos o dulces, (Carrasco, 1990).

En cuanto al porcentaje en taninos su contenido puede reducirse post cosecha con tratamientos como el ensilado y/o el agregado de soda o urea (Reichert et al., 1980; Russell y Lolley, 1989).

### 3.2.2 Momento de Cosecha.

La cosecha se realiza al menos en dos momentos. La mayor parte se cosecha con bajos porcentajes de humedad (tardío) siendo sometido a secado si el mismo tiene un porcentaje de humedad superior al 14 % y previo a su utilización es molido. En los últimos años se incrementó la cosecha del grano en estado más temprano con porcentajes de humedad de 23 a 40%, éste es habitualmente quebrado y ensilado (silos bolsas) llamado ensilado de grano húmedo (Chalkling y Brasesco, 1997; Owens y Zinn, 2005). Este proceso de ensilado permite un estado de anaerobiosis favoreciendo una fermentación láctica (lactobacilos) lo cual produce un descenso del pH permitiendo una adecuada conservación del grano.

En granos de maíz, Ekinci y Broderick (1997) y Knowlton et al. (1998), comparando el grano seco con respecto al húmedo obtuvieron una mayor degradación de éste con relación al seco.

Con respecto a la degradabilidad ruminal Akbar et al. (2002), estudiando seis variedades de grano de maíz encontraron que la degradabilidad de la materia seca disminuía a medida que aumentaba el grado de madurez al momento de cosecha. Esto podría estar relacionado según Philippeau y Michalet-Doreau (1997), por el aumento del endosperma córneo con la maduración del grano.

En otro trabajo realizado por Philippeau y Michalet-Doreau (1998) se compararon dos genotipos de maíz los cuales variaban en las características de su endosperma, se observó que la degradación del almidón fue distinta (72% vs 61.6%); pero cuando se los sometió al proceso de ensilado (silo grano húmedo) la degradabilidad del almidón aumentó siendo muy similar para ambos genotipos.

### 3.2.3 Aplicación de diferentes procesamientos.

A los granos se les pueden realizar diferentes procesamientos para favorecer su conservación y a su vez aumentar la degradabilidad ruminal de los mismos. Los tratamientos pueden ser el ensilaje del grano con alto porcentaje de humedad (cosecha temprana), térmicos (vapor), presión, diferentes tamaños de molienda (molido, quebrado) y el agregado de distintos aditivos como urea, soda o ácidos. Chessa (2001) reporta que para obtener el máximo de eficiencia alimenticia de los granos de sorgo se les debería realizar algún proceso.

El efecto de la molienda sobre los granos de cereales es romper las células del endosperma, por lo cual se facilita la colonización y posterior degradación del almidón en rumen. Debido a las características previamente descritas de los diferentes granos es que la influencia de este tratamiento es mayor cuando se lo aplica a los granos de maíz y sorgo que en los de trigo o cebada (de Blas et al., 1995).

El quebrado del grano consiste en el pasaje del mismo a través de dos rodillos. El tamaño de partícula varía dependiendo del peso, presión (espacio entre los rodillos) del contenido de humedad del grano y de la velocidad de pasaje del grano por los rodillos (Galyean, 1997).

Otros tratamientos como es la aplicación de vapor y presión tienen la particularidad de provocar la gelatinización del almidón (ruptura de puentes de hidrógeno que forman parte de la estructura) y la separación de la matriz proteica (de Blas et al., 1995; Owens y Zinn, 2005).

A los granos de cereales secos también se los puede reconstituir. Este tratamiento consiste en aumentar la humedad a un 25 o 30% y almacenarlo al grano entero en un silo en anaerobiosis durante 20 días. Usualmente antes de ser utilizado es molido (Galyean, 1997).

Estudiando el efecto de diferentes formas de procesamiento sobre la degradabilidad ruminal del sorgo y del maíz (quebrado, molido extrusado y molido cocido) Moron et al. (1999), obtuvieron mejores degradabilidades de éstos frente al grano sin procesar.

Diferentes trabajos sostienen que la aplicación de vapor y presión mejora la digestibilidad del grano de sorgo comparado con el grano seco quebrado (Oliveira et al., 1995; Poore et al., 1993; Firkins et al., 2001; Passini et al., 2004). A su vez estos autores plantean que al tener un incremento en la disponibilidad del almidón va haber una fuente de energía aprovechable por los microorganismos ruminales favoreciendo la degradación de la fibra de la dieta.

Owens y Zinn (2005) reportan datos similares a los antes mencionados, para el tratamiento de vapor y presión con respecto al seco, también reportaron un mayor incremento en la digestión del almidón para el grano con alta humedad (grano húmedo).

Knowlton et al. (1998), cuando estudiaron el efecto de los diferentes procesos (quebrado y molido) sobre la degradabilidad del maíz seco y grano húmedo (30% humedad) se observó que para el grano seco no hubo diferencias entre los procesos siendo 57% para ambos, mientras que para el grano húmedo las diferencias para el molido y el quebrado fueron de 65 vs 60% respectivamente. Otro trabajo realizado sobre sorgo obtuvieron resultados opuestos cuando estudiaron la degradabilidad del grano molido seco frente al grano húmedo (25 a 30%) ensilado quebrado, teniendo una degradación a las 24 horas de 61.4% para

el seco y de 25.4% para el húmedo. Esta diferencia fue atribuida al mayor tamaño de partícula del grano húmedo (Kucseva et al., 2000).

El agregado de aditivos alcalinos (urea o soda) sobre los taninos condensados del grano de sorgo provoca reacciones de polimerización oxidativa resultando en compuestos inactivados formados por grandes polímeros. Frente al agregado de formaldehído reacciona con los grupos fenoles de los taninos formando resinas (formaldehídos-fenoles) siendo también inactivos (Beta et al., 2000), tratamientos que también alterarían el endosperma aumentando la digestibilidad del almidón (Hill et al., 1991).

Según datos internacionales el agregado de urea (de 3 a 4 kg por cada 100 kg de materia seca de sorgo), además de asegurar una buena conservación produce reacciones que desactivan los taninos, alterando la cubierta del grano, lo cual incrementa la digestión del almidón y la respuesta a nivel de ganancia de peso (Russell et al., 1988; Russell y Lolley, 1989).

Realizando un estudio sobre distintos tratamientos del grano de sorgos Hill et al. (1991), comparando un grano reconstituido (28% humedad), reconstituido con agregado de urea al 2%, reconstituido con agregado de ácido al 1% y un grano seco, observaron que la degradación ruminal se incrementó un 19% y la digestión total del almidón un 8% en el reconstituido con respecto al seco, mientras que en el tratado con urea las mismas digestiones mejoraron 13 y 6% respectivamente. El tratamiento con ácido no tuvo ningún efecto con respecto al seco.

También se comunican aumentos en la degradabilidad ruminal con el agregado de urea en granos secos y húmedos y en granos enteros y molidos. Según Russell et al. (1988) y Owens et al. (1997), ésto se produce por un fraccionamiento en la cutícula externa del grano, quedando además el almidón menos cristalino (evidenciado por fotografía microscópica), de esta manera se podría evitar la molienda del grano.

Se ha informado que la reconstitución con fermentación altera las características físicas y/o químicas del grano de sorgo incrementando la disponibilidad del almidón, produciendo un efecto similar al cosechado húmedo y tratado con urea, con lo que podría tener una mayor degradabilidad del mismo (Theurer, 1986).

En un trabajo realizado por Beta et al. (2000) en alimentación humana, estudiaron el efecto del agregado de formaldehído (HCHO), soda (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl) sobre la desactivación de los taninos del grano de sorgo. Se observó una reducción del contenido de taninos siendo los más efectivos el agregado de HCHO y NaOH. El formaldehído es de uso corriente en la industria del malteado aunque posee una alta toxicidad causando daños para la salud, por lo que se están buscando otras alternativas siendo la de la soda una propuesta segura y simple, con resultados similares.

Según datos nacionales en un trabajo realizado por Bianco et al. (2000), donde estudiaron el efecto del procesamiento y el contenido en taninos del grano de sorgo, obtuvieron valores de degradabilidad ruminal de la materia seca para el grano seco alto en taninos 44%, alto en tanino húmedo 52% y alto en tanino húmedo con urea 46% mientras que para los bajos en taninos los valores fueron de 51, 64 y 49% respectivamente. Estos autores concluyen que el grano húmedo en relación con el seco y con urea aumentó la degradabilidad independientemente del contenido en taninos.

Debido a la escasa información nacional y al creciente uso en alimentación animal es que se pretende ampliar los conocimientos en cuanto al comportamiento del sorgo sobre la degradación ruminal y la influencia de distintos tratamientos para un mejor aprovechamiento del grano.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar la degradabilidad ruminal de dos tipos de grano de sorgo que se cosechan en nuestro medio sometidos a distintos tratamientos.

### 4.2. OBJETIVOS PARTICULARES

-Estudiar el efecto de dos genotipos de granos de sorgo –altos y bajos en taninos- y de dos tratamientos a la cosecha –temprano ensilado o tardío- sobre la degradabilidad ruminal.

-Comparar la degradabilidad ruminal de un genotipo alto en taninos y cosechado húmedo (temprano) sometido a diferentes tratamientos poscosecha.

-Estudiar el efecto de distintos tratamientos sobre la cubierta del grano entero comparándolo con el incubado estándar (molido) sobre la degradación ruminal.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS



El trabajo fue realizado en el Campo Experimental N° 2 (Libertad, San José) y en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria

### 5.1. COLECCIÓN DE MUESTRAS

Para este trabajo se utilizó parte de una colección de muestras correspondientes al proyecto CSIC "Valor nutritivo para animales del grano de sorgo: factores que lo afectan y posibles tratamientos para su mejora", cuyo responsable es el profesor J.L. Repetto.

#### 5.1.1 Ensayo I

Las muestras de sorgo se tomaron de 6 chacras de predios comerciales, de las cuales 3 chacras tenían sorgos de un genotipo con bajo contenido en taninos, mientras que las 3 restantes chacras eran de un genotipo de sorgo con alto contenido en taninos. De las 6 chacras se tomaron muestras con diferentes tiempos de maduración. La primera en una etapa de maduración temprana con más de 30 % de humedad (grano húmedo), las cuales fueron almacenadas en microsilos con el grano quebrado, en envases de plástico herméticos, de 20 l de capacidad, durante 60 días y luego se congelaron las muestras hasta el ensayo. Aproximadamente un mes después se tomó otra muestra en una etapa de maduración tardía (grano seco), con aproximadamente un 14 % de humedad. Se trabajó con un  $n = 11$  (una chacra no se pudo cosechar). Previo a la incubación ruminal fueron molidas en el laboratorio.

#### 5.1.2 Ensayo II

Se muestreó parte de una chacra de un predio comercial que contenía sorgo de un genotipo alto en taninos cosechado de forma temprana (aproximadamente un 35% de humedad). Este sorgo también se lo conservó en forma de microsilos, en envases de plástico herméticos, de 20 l de capacidad, durante 60 días y luego fueron congeladas las muestras.

El sorgo se ensiló entero y quebrado solo y con el agregado de aditivo. Fueron utilizados dos aditivos: urea comercial al 4% (U) y ácido acético comercial al 1% (Ac.A). Los granos enteros para la incubación ruminal fueron incubados enteros y también molidos (M), quedando para el ensayo los siguientes tratamientos:

Entero	Entero (M) *	Quebrado
Entero con (Ac.A)	Entero con (Ac.A) (M) *	Quebrado con (Ac.A)
Entero con (U)	Entero con (U) (M) *	Quebrado con (U)

\* Los tratamientos que indican (M) fueron ensilados con el grano entero siendo luego molidos para la incubación ruminal, incubación estándar molido a 2 mm en el laboratorio.

En una segunda parte de ensayo se utilizaron las muestras del grano entero solo y con el agregado de aditivo y el grano estándar solo y con el agregado de aditivo (molido para la incubación)

A las muestras utilizadas en los ensayos I y II se les determinó la composición química (ver tabla I) en el laboratorio del Departamento de Nutrición de la Facultad de Veterinaria.

**Tabla I. Composición química de las muestras del ensayo I y II utilizadas.**

	MS	Cen	PB	FDA
AH	68.7	1.80	7.60	5.32
AS	84.4	1.90	8.20	8.82
BH	72.3	1.50	8.40	2.64
BS	88.0	1.94	8.50	4.43
Molido	71.5	1.66	8.00	7.32
Entero	71.3	1.28	7.80	5.97
Molido + urea	70.3	1.38	15.6	9.55
Entero + urea	70.8	1.39	19.7	7.22
Molido + acético	70.5	1.76	7.45	3.77
Entero + acético	70.2	1.29	7.60	3.58

MS: % de materia seca de las muestras frescas; Cen: cenizas, PB: proteína bruta, FDA: fibra detergente ácido, expresadas como porcentaje de la MS; AH: grano de sorgo alto en taninos húmedo; AS: grano de sorgo alto en taninos seco; BH: grano de sorgo bajo taninos húmedo; BS: grano de sorgo bajo en taninos seco.

## 5.2. METODOLOGÍA



### 5.2.1 Degradabilidad Ruminal

La cinética de degradación ruminal de la Materia Seca (MS) y Proteína Bruta (PB) se realizó en 3 vacas adultas (570 kg de peso vivo promedio) de la raza Holando (secas), canuladas en el saco dorsal del rumen. Los animales se alojaron en un potrero, con libre acceso al agua. Fueron alimentadas mediante pastoreo directo en una pastura mezcla de gramíneas y leguminosas (11.7% de PB y 35.3% de FDA) y suplementadas con ensilaje de grano húmedo de maíz a razón de un 1/3 del total de materia seca consumida, con un nivel de consumo estimado de 70 gr de MS/kg PV<sup>-0.75</sup> (ARC, 1984), teniendo un periodo de adaptación de 15 días previo al ensayo.

Las muestras fueron incubadas frescas en bolsas de poliamida (ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA) con un tamaño de 21 x 10.5 cm con un diámetro de poro de 9 a 22 µm, en las cuales fueron colocados 5 g de MS de cada alimento en estudio. Las muestras se incubaron puestas en cadenas de 70 cm de longitud, donde se colocaron 6 anillos en cada una de ellas con las bolsas correspondientes. Los tiempos de incubación fueron de 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 h, utilizando dos repeticiones por horario. La hora 0 de incubación se estableció por el lavado de las bolsas sin incubar.

Luego de la extracción del rumen las bolsas fueron lavadas ligeramente y congeladas. Previo a los análisis químicos las bolsas fueron descongeladas y lavadas con agua tibia durante 10 minutos y luego se secaron en estufa de aire forzado por 48 h a 65 C°.

El modelo que se utilizó para el ajuste de la cinética de degradación ruminal fue el descrito por Ørskov y Mc Donald (1979):  $d = a + b(1 - e^{-kdt})$ , donde d (%) es el material desaparecido de la bolsa en el tiempo t, a(%) es la fracción soluble, b(%) es la fracción no soluble potencialmente degradable, kd (%h<sup>-1</sup>) es la tasa fraccional de degradación de b. La fracción indegradable (c) fue calculada como 100 - (a + b). La degradabilidad efectiva (DE) (%) fue determinada como  $a + (b \cdot kd) / (kd + kd)$ , utilizando una tasa de salida de partículas del rumen (kp) de 3 y 6%h<sup>-1</sup> (DE03 y DE06 respectivamente).

### 5.2.2 Análisis Químicos

Sobre todas las muestras se determinó el contenido de Materia Seca (MS) y de Proteína Bruta (PB) de acuerdo a las normas AOAC (1984).

### 5.2.3 Análisis Estadístico

La cinética de degradación de la MS y PB de cada muestra fueron ajustadas para cada animal, periodo y tratamiento al modelo indicado por regresión no lineal (proc. mixed del SAS). Los parámetros de degradación para ambos ensayos fueron comparados por análisis de varianza y las medias separadas por contrastes ortogonales. Para el ensayo I, se consideraron los sorgos de genotipos altos en taninos cosechados húmedos (AH) o secos (AS), los sorgos de genotipos bajos en taninos cosechados húmedos (BH) o secos (BS) como tratamientos diferentes. Mediante contrastes se estudió el efecto del genotipo (A vs B) del tratamiento a la cosecha (H vs S) y la interacción entre ambos.

Para el ensayo II se consideraron los sorgos (molidos y quebrados) sin aditivos (SA) con los tratados con ácido acético (Acético) y con urea (Urea). Se estudió el efecto del agregado de aditivos (SA vs CA) y del tipo de aditivo (A vs U) mediante contraste ortogonales.

Finalmente se estudió el efecto de la molienda del grano en la degradación ruminal mediante ANOVA.



## 6. RESULTADOS

### 6.1. ENSAYO I.

En la tabla II se presentan los parámetros que afectan la degradabilidad de la MS, en relación al contenido en taninos y el porcentaje de humedad en los granos de sorgo. Se observó que la DE a una tasa de pasaje lenta (3%) y una rápida (6%) fue superior para el grano húmedo frente al seco. El mayor valor para la DE cuando se compararon a una tasa de pasaje rápida (6%) fue para el AH (65.25%) y el más bajo para el AS (44.07%). Sin embargo cuando lo comparamos a una tasa de pasaje de (3%) el mayor valor fue para el BH (75.52%) y el más bajo fue para el AS (58.48%).

**Tabla II. Degradabilidad Ruminal de la materia seca de sorgos bajos y altos en taninos (B y A), ensilado grano húmedo (H) y seco (S).**

	AH	AS	BH	BS	ESM	P		
						A vs B	H vs S	Inter.
a (%)	42.5	9.24	38.29	11.68	2.334	0.0004	<0.001	0.0526
b (%)	49.14	84.32	60.62	84.51	2.319	<0.001	<0.001	0.0048
kd (%h <sup>-1</sup> )	0.054	0.043	0.048	0.045	0.001	<0.0001	<0.0001	0.0002
c (%)	8.38	6.44	1.08	3.80	0.499	<0.0001	ns	<0.0001
DE03 (%)	73.56	58.48	75.52	61.73	0.974	0.0031	<0.0001	ns
DE06 (%)	65.25	44.07	65.19	47.35	1.334	0.0004	<0.0001	ns

BH: sorgo bajo taninos grano húmedo; BS: bajo taninos grano seco; AH: sorgo alto taninos grano húmedo; AS: alto taninos grano seco; ESM: error estándar de las medias; H vs S: húmedo vs seco; A vs B: altos en taninos vs bajos en taninos; Inter.: Interacción = humedad x taninos; a: fracción soluble, b: fracción potencialmente degradable no soluble; kd: tasa de degradación de la porción potencialmente degradable; c: fracción indegradable; DE03 y DE06: degradabilidad efectiva usando  $k_p$  de 3 y 6% h<sup>-1</sup> respectivamente; P: probabilidad del contraste ortogonal; ns: no significativo (P>0.05).

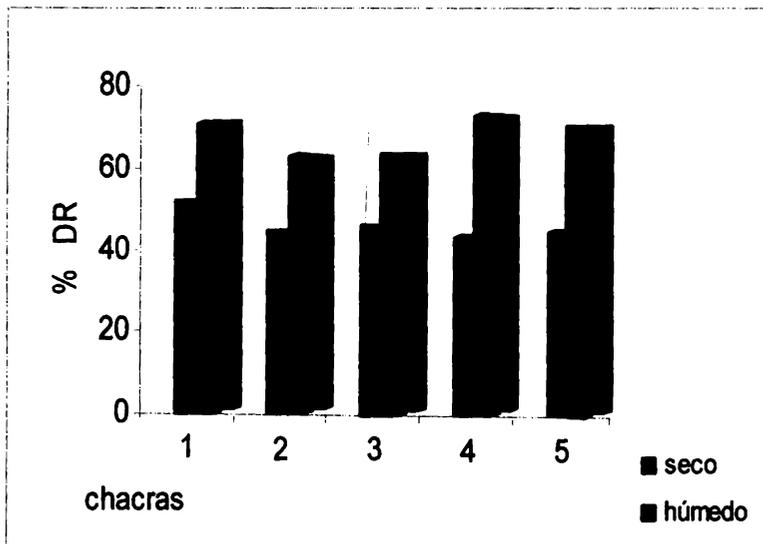
Con respecto a la fracción soluble (a) para los granos húmedos fue significativamente mayor que para los granos secos, aproximadamente 3 veces más.

La fracción potencialmente degradable (b) de los granos secos fue superior que la de los granos húmedos, independientemente del contenido en taninos.

Los granos con bajo contenido en taninos fueron los que tuvieron los menores valores para la fracción indegradable (c), siendo el de menor valor el sorgo BH (1.08%).

La velocidad de degradación (kd) fue mayor para los granos húmedos, presentando el AH el valor más alto.

En la figura 2 se ilustran las degradabilidades teóricas de las 5 chacras en estudio donde se observa la diferencia entre el grano seco y cosechado y ensilado como grano húmedo.



**Figura 2. Diferencia en la degradabilidad ruminal del grano de sorgo seco y húmedo en las chacras en estudio**

En la tabla III se presenta la degradabilidad de la proteína para sorgos bajos y altos en contenido de taninos, húmedos y secos. Se observó que la DE fue mayor para los húmedos frente a los secos a ambas tasas de pasaje 3 y 6%, teniendo los valores más altos los AH de 71.94 y 62.83% respectivamente.

**Tabla III. Degradabilidad Ruminal de la proteína de sorgos bajos y altos en taninos (B y A), ensilado grano húmedo (H) y seco (S).**

	AH	AS	BH	BS	ESM	P		
						A vs B	H vs S	Inter.
a (%)	40.70	16.79	36.59	17.71	3.201	0.0049	<0.0001	ns
b (%)	53.36	76.88	61.31	76.52	3.569	0.0036	<0.0001	ns
kd (%h <sup>-1</sup> )	0.044	0.039	0.038	0.036	0.002	0.0009	0.0424	ns
c (%)	5.95	6.33	2.10	5.77	0.68	0.0271	0.014	0.024
DE03 (%)	71.94	59.83	70.52	58.90	1.349	0.0007	<0.0001	ns
DE06 (%)	62.83	46.72	60.10	45.98	1.907	0.001	<0.0001	ns

BH: sorgo bajo taninos grano húmedo; BS: bajo taninos grano seco; AH: sorgo alto taninos grano húmedo; AS: alto taninos grano seco; ESM: error estándar de las medias; H vs S: húmedo vs seco; A vs B: altos en taninos vs bajos en taninos; Inter.: Interacción = humedad x taninos; a: fracción soluble, b: fracción potencialmente degradable no soluble; kd: tasa de degradación de la porción potencialmente degradable; c: fracción indegradable; DE03 y DE06: degradabilidad efectiva usando kp de 3 y 6% h<sup>-1</sup> respectivamente; P: probabilidad del contraste ortogonal; ns: no significativo (P>0.05).

Para la degradabilidad de la proteína también se observó que los granos húmedos tuvieron una fracción soluble (a) mayor, frente a los granos secos.

Con respecto a la fracción potencialmente degradable (b) los valores fueron menores para los granos húmedos en comparación con los granos secos bajos y altos en taninos, siendo éstos valores muy similares entre si.

Tomando en cuenta por el contenido en taninos, el efecto del tratamiento de ensilado húmedo para la fracción indegradable (c) fue mayor para los bajos en taninos como lo indica la interacción (P 0,024).

La velocidad de degradación (kd) fue mayor para los granos con alto contenido en taninos con respecto a los bajos en taninos.



## 6.2. ENSAYO II

En la tabla IV se presentan los resultados de degradabilidad de la MS para los granos de sorgo enteros (M) y quebrados sin tratamiento o con el agregado de urea o ácido acético. La degradabilidad efectiva de la MS para los sorgos con el agregado de aditivos no tuvo diferencias significativas con respecto al sin aditivo (ver tabla IV). Cuando se comparó la DE06% se observó que el tratamiento con ácido acético fue superior que el sorgo tratado con urea.

**Tabla IV. Efecto del agregado de aditivos sobre las características de degradación ruminal de la materia seca de granos de sorgo alto en taninos ensilado húmedo.**

	Tratamiento			ESM	P	
	SA	Acético	Urea		SA vs CA	A vs U
a (%)	31.85	30.25	23.38	0.591	< 0.001	< 0.001
b (%)	56.64	52.64	62.23	1.199	ns	< 0.001
kd (%h <sup>-1</sup> )	0.037	0.051	0.048	0.002	0.006	ns
c (%)	11.52	17.12	14.39	0.995	0.015	ns
DE03 (%)	62.68	62.19	59.10	0.991	ns	ns
DE06 (%)	53.09	53.36	48.95	1.026	ns	0.029

a: fracción soluble; b: fracción potencialmente degradable no soluble; kd: tasa fraccional de degradación de b; c: fracción indegradable; DE03 y DE06: degradabilidad efectiva usando kp de 3 y 6% h<sup>-1</sup> respectivamente; ESM: error estándar de las medias; SA: grano entero (M) y quebrado ensilado sin agregado de aditivo; Acético: grano entero (M) y quebrado ensilado con agregado de ácido acético al 1%, Urea: grano entero (M) y quebrado ensilado con agregado de urea al 4%; P: probabilidad del contraste ortogonal; SA vs CA: sin aditivo vs con aditivo; A vs U: acético vs urea; ns: no significativo (P > 0,05).

La fracción soluble (a) fue mayor para el sorgo sin aditivo, teniendo el valor más bajo el sorgo con el agregado de urea, sin embargo éste presentó el valor más alto para la fracción potencialmente degradable (b). Con respecto a la velocidad de degradación (kd) fueron mayores para los sorgos con el agregado de aditivos, siendo para el tratamiento con ácido acético de 0.051 y para la urea de 0.048, en relación con el sorgo sin aditivo que fue de 0.037.

En la tabla V se encuentran los parámetros de degradabilidad ruminal de la proteína. Las mayores DE tanto para una tasa de pasaje de 3 y 6% fueron para el tratamiento con urea, siendo los valores de 77.30 y 72.74 respectivamente.

**Tabla V. Efecto del agregado de aditivos sobre las características de degradación ruminal de la proteína de granos de sorgo alto en taninos ensilado húmedo.**

	Tratamiento			ESM	P	
	SA	Acético	Urea		SA vs CA	A vs U
a (%)	38.30	34.90	59.99	3.645	0.013	<0.0001
b (%)	51.35	50.27	28.28	2.385	<0.0001	<0.0001
kd (%h <sup>-1</sup> )	0.037	0.039	0.051	0.005	ns	0.021
c (%)	10.36	14.83	11.72	1.954	ns	ns
DE03 (%)	66.46	62.86	77.50	2.331	ns	<0.0001
DE06 (%)	57.75	54.40	72.74	2.678	0.027	<0.0001

a: fracción soluble; b: fracción potencialmente degradable no soluble; kd: tasa fraccional de degradación de b; c: fracción indegradable; DE03 y DE06: degradabilidad efectiva usando kp de 3 y 6% h<sup>-1</sup> respectivamente; ESM: error estándar de las medias; SA: grano entero (M) y quebrado ensilado sin agregado de aditivo; Acético: grano entero (M) y quebrado ensilado con agregado de ácido acético al 1%, Urea: grano entero (M) y quebrado ensilado con agregado de urea al 4%; P: probabilidad del contraste ortogonal; SA vs CA: sin aditivo vs con aditivo; A vs U: acético vs urea; ns: no significativo (P > 0,05).

En cuanto a la fracción soluble (a) el valor más alto lo tuvo el tratamiento con urea (59.99%), siendo el tratamiento con ácido acético incluso menor que el de sin aditivo.

Para la fracción potencialmente degradable (b) el tratamiento con urea presentó el menor valor, teniendo el tratamiento con ácido acético y sin aditivo valores similares entre sí.

Con respecto a la velocidad de degradación (kd) el tratamiento con urea fue significativamente superior que en el tratamiento con ácido acético.

Los datos expresados en la tabla VI fueron obtenidos tomando en cuenta los valores de los granos con y sin aditivos juntos tanto para los enteros como molidos.

Como se muestra en la tabla VI en los parámetros de degradabilidad ruminal de la MS, se observó que el grano molido demuestra los parámetros más altos cuando fue comparado con el grano entero. Se puede destacar el valor de 0% para la fracción soluble (a) y el alto porcentaje de la fracción indegradable (c) de 76.44 para el grano entero.

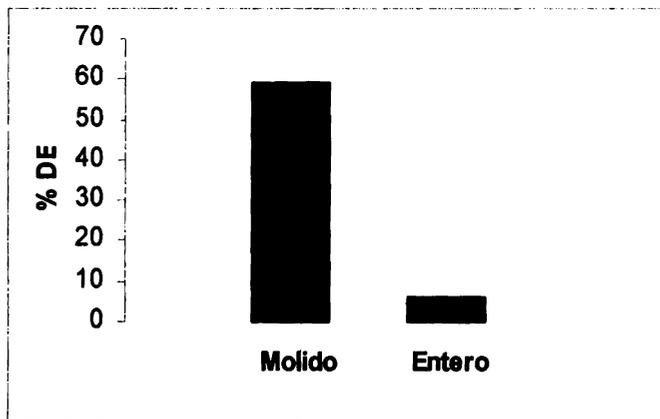


**Tabla VI. Degradabilidad ruminal de la materia seca de grano húmedo de sorgo alto en taninos entero y molido.**

	Entero	Molido	P	ESM
a (%)	0	35.41	<0.0001	0.676
b (%)	23.56	50.24	<0.0001	1.146
kd (%h <sup>-1</sup> )	0.027	0.055	0.035	0.0083
c (%)	76.44	14.34	<0.0001	0.698
DE (%03)	9.43	67.54	<0.0001	1.155
DE (%06)	6.24	59.17	<0.0001	1.095

a: fracción soluble; b: fracción potencialmente degradable no soluble; kd: tasa fraccional de degradación de b; c: fracción indegradable DE03 y DE06: degradabilidad efectiva usando kp de 3 y 6% h<sup>-1</sup> respectivamente; ESM: error estándar de las medias; entero: ensilado entero; molido: ensilado entero y molido para la incubación; ns: no significativo (P> 0,05).

En la figura 3 se ilustra la diferencia en la degradabilidad efectiva del grano entero y molido.



**Figura 3. Diferencia en la Degradabilidad Efectiva del grano de sorgo húmedo alto en taninos entero y molido.**

## 7. DISCUSIÓN



### 7.1. ENSAYO I

Al considerar los resultados obtenidos podemos apreciar que el grano de sorgo húmedo tuvo una DE de la MS superior al grano seco, como se observa en la figura 2. Esto se puede deber al incremento que se observa en la fracción soluble (a) en los granos húmedos. Estos resultados también obtuvieron Bianco et al. (2000), los cuales atribuyen el aumento de la degradabilidad ruminal al cosechado del grano sin haber alcanzado la madurez fisiológica, presentando un mayor contenido celular (endosperma) y un menor contenido de pared celular (pericarpio). A su vez Owens y Zinn (2005) reportan que la relación de endosperma córneo con respecto al harinoso se puede ver incrementada con la maduración del grano, teniendo el endosperma córneo una menor degradación ruminal (Huntington 1997; Hibberd et al., 1982).

Por otro lado el grano en un estado más temprano de madurez tiene una proporción de endosperma vítreo menor, por lo cual se favorece la degradación ruminal (Taylor y Allen 2005). Philippeau y Michalet-Doreau (1998) estudiando la degradabilidad en el grano de maíz en diferentes estados de madurez encontraron una mayor degradación en los estados más tempranos, relacionándolo a una mayor fracción soluble (a), dado por un mayor contenido de endosperma harinoso. La digestión inicial estaría dada por el almidón contenido en el endosperma harinoso (Owens y Zinn 2005). Este mismo concepto podría explicar también los mayores valores que presentaron las tasas de degradación (kd) que fueron significativamente mayores para los granos húmedos frente a los secos. Según indican Mc Allister et al. (1993) la menor degradación se debería principalmente a la resistencia del endospermo córneo por la presencia de una matriz proteica, por lo que dificulta la colonización y ataque bacteriano.

Con respecto a los sorgos de genotipos bajos en taninos la DE de la MS y todos los parámetros de degradación, fueron significativamente superiores que los de genotipos altos en taninos. Chessa (2001) describe que los taninos reducen la disponibilidad de la proteína y asimismo, inhiben la acción de la amilasa (enzima importante durante el proceso de digestión de los granos), causando una disminución del 10 al 30% en su eficiencia nutricional en comparación con los sorgos que no poseen estos compuestos.

Para un sorgo alto en taninos cosechado y ensilado con 25 y 35% de humedad Montiel y Elizalde (2004) obtuvieron una mayor degradación para el sorgo con el mayor porcentaje de humedad (35%), estos autores indican que el efecto de los taninos sobre la digestión del grano es dependiente de la humedad del mismo. En el presente trabajo los valores para el grano de sorgo ensilado húmedo alto y bajo en taninos presentaron similares DE para la materia seca, por lo que la humedad

podría haber favorecido la degradación del sorgo con alto contenido en taninos. Este aumento en la DE a su vez podría estar dado por el efecto de la humedad por las alteraciones en las características del almidón facilitando su degradación (Guada, 1993)

También estos valores de degradabilidad de los AH puede deberse al efecto del ensilado, según indican Mitaru et al. (1984) la fermentación anaeróbica (ensilado de grano húmedo) puede reducir el efecto de los taninos. Owens et al. (1986) comprobaron que los taninos de los granos con pH de 3.5 o menos se disocian de las proteínas.

En cuanto a la DE de la proteína bruta como era esperable para los granos húmedos fue superior que para los secos. Estos resultados al igual que para la MS pueden deberse a que a un estado más temprano de madurez el grano tiene una matriz proteica más degradable, (de Blas et al., 1995).

Los valores para la DE de la PB en los granos AH fueron superiores que los BH, estos resultados demuestran el efecto del ensilado como un proceso por el cual aumenta la disponibilidad de la proteína ya que la misma estaría menos asociada a los taninos, teniendo una relevancia importante por un mejor aprovechamiento del grano. El ensilado de grano húmedo puede tener un efecto positivo obteniendo una reducción de los taninos (Mitaru et al., 1984), principalmente por la unión que tienen éstos a las proteínas formando compuestos indigestibles (Reed 1995).

Otros autores como Montiel y Elizalde (2004), evaluando el efecto de los taninos y su interacción con dos niveles de humedad de cosecha obtuvieron mejores DE en los bajos en taninos, pero se pudo observar que con un mayor contenido de humedad al momento de cosecha mejora la DE de los granos altos en taninos presentando valores de 41.7 y 69.9% cuando fueron cosechados a 25 y 35% de humedad respectivamente.

## 7.2. ENSAYO II

La DE de los granos de sorgo AT con el agregado de aditivos no mostró diferencias significativas con respecto a los granos sin aditivo. Estos resultados no reflejaron lo mismo en relación con otros trabajos como los reportados por Russell y Lolley (1989) donde el ensilado húmedo y el agregado de urea provocarían un efecto en la reducción de los taninos, con lo que se podría incrementar la DE. Sin embargo en un estudio realizado por Romero et al. (2001), obtuvieron resultados similares al presente trabajo, en el cual observaron una hidrólisis de un 60% en los taninos, pero el agregado de urea disminuyó la DE de la materia seca.

La menor fracción soluble (a) de los granos ensilados con urea fue compensada por un incremento de la fracción potencialmente degradable (b). La kd fue

significativamente mayor en los tratamientos con aditivos, lo cual indicaría un efecto de estas sustancias al hacer más fácilmente disponibles para la degradación microbiana a los constituyentes del grano de sorgo (Hill et al., 1991). Sin embargo esto no se vio reflejado en una mayor DE para los granos tratados con aditivos.

Comparando con otro estudio nacional realizado por Goñi y Oholeguy (2000) en el presente trabajo se obtuvieron valores superiores para los parámetros de degradabilidad ruminal y en la DE de la MS para los granos húmedos altos en taninos con y sin urea. Esta diferencia la podemos atribuir a un mayor porcentaje de humedad en el momento de cosecha, la cual se ve reflejada en valores superiores en la fracción soluble (a) y en la velocidad de degradación (kd). Sin embargo se establece una relación similar con el presente trabajo, entre los datos de DE del grano húmedo con y sin urea, donde se puede apreciar la importancia del efecto de la humedad en relación al agregado de urea, sobre la degradación ruminal.

Para la PB el sorgo con el agregado de urea presentó los valores más altos de DE, esto podría deberse como ya se mencionó, al efecto de la urea sobre los taninos, (Russell y Lolley, 1989). Romero et al. (2001) observaron que el agregado de urea sólo incrementó la velocidad de digestión de la proteína del sorgo alto en taninos sin que esta diferencia se manifestara en la DE de las proteína. Con respecto a la fracción soluble (a), el alto valor que se observa puede estar influenciado por el aporte del nitrógeno no proteico dado por la urea.

En la Figura 3 se observa la gran diferencia presentada entre los valores de DE del grano entero frente al molido. Coincidiendo con de Blas (1995) donde establece que el efecto del molido es romper la cutícula del grano por lo cual se va a ver facilitado la colonización microbiana y posterior degradación en el rumen, esto puede ser una de las causas de los bajos valores del grano entero. Aunque se debe considerar el efecto de la masticación sobre el grano.

Como se puede apreciar el agregado de aditivos no tuvo un efecto sobre la degradabilidad del grano, contrariamente a lo expresado por Russell et al. (1988) quienes observaron que el agregado de aditivos podría sustituir la molienda del grano, ya que favorecería el ataque microbiano y enzimático por un debilitamiento y ruptura de la cutícula del grano.

Como se desprende de los ensayos los sorgos caracterizados por el alto contenido en taninos presentan una menor degradabilidad ruminal y ese puede ser un factor determinante para el menor aprovechamiento digestivo del grano. La cosecha temprana del grano y su ensilaje como grano húmedo mejora la degradabilidad ruminal que seguramente redundara en un mayor beneficio nutricional. En los resultados del segundo ensayo se muestra que el agregado de aditivos no incrementaron los efectos del ensilado de grano húmedo. Todo indicaría que el ensilaje de grano húmedo sería una buena elección en la utilización del grano de sorgo como componente de la dieta.

## 8. CONCLUSIONES

El grano de sorgo cosechado temprano y ensilado como grano húmedo tuvo mayor degradabilidad efectiva que el grano cosechado seco tanto para la MS como para la PB.

Los sorgos secos de genotipos caracterizados por el bajo contenido en taninos tuvieron una mayor DE que los granos de sorgo de genotipo caracterizados por el alto contenido en taninos.

Para los granos de sorgo de genotipos con alto contenido en taninos y ensilados húmedos con el agregado de aditivos (urea o ácido acético) se obtuvo una velocidad de degradación ruminal (kd) superior, aunque el agregado de aditivos no provocó un aumento en la DE en relación al grano sin aditivos.



## 9. BIBLIOGRAFÍA CITADA

**Akbar M. A., Lebzien P., Flachowskys G. (2002).** Measurement of yield and in situ dry matter degradability of maize varieties harvested at two stages of maturity in sheep. *Anim. Feed Sci Technol*; 100:53-70.

**Association. of Oficial Agricultural Chemists (1984).** Oficial Methods of análisis. 14<sup>th</sup> Ed. Arlington, AOAC U.S, 1141p.

**Beta T., Rooney L. W., Marovatsanga L. T., Taylor R. N. (2000).** Effect of Chemical Treatments on Polyphenols and Malt Quality in Sorghum. *J. of Cereal Sci*; 31:295-302.

**Bianco A. Goñi V., Oholeguy S. (2000).** Efecto del procesado y el contenido de taninos del grano de sorgo sobre la composición química y la digestión de la materia seca en rumiantes. Disponible en: [http:// www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)  
Fecha de consulta: 15/03/07.

**Carrasco P. (1990).** Sorgo. Cátedra de cereales y cultivos industriales. Rep. N° 530. EEMAC-Facultad de Agronomía, UdelaR, Uruguay. Disponible en: [http:// www.planagro.com.uy/publicaciones/uedy/Publica/sgh/bibliografia.htm](http://www.planagro.com.uy/publicaciones/uedy/Publica/sgh/bibliografia.htm). Fecha de consulta: 15/03/07.

**Chalkling D., Brasesco R. (1997).** Ensilaje de grano húmedo: una alternativa promisoría. Ed. Plan Agropecuario. N° 76: 22-26. Uruguay.

**Chessa A. (2001).** Calidad del sorgo granifero: su valor nutritivo depende del contenido de taninos condensados, aprendamos a reconocer su presencia. *Revista Forrajes & Granos*, febrero, 2001. Disponible en: [http:// www.engormix.com/alternativas\\_sustituir\\_maiz\\_es\\_ref\\_100\\_forumview9925.htm](http://www.engormix.com/alternativas_sustituir_maiz_es_ref_100_forumview9925.htm). Fecha de consulta: 15/03/07.

**Chilibroste P., Ibarra D., Laborde D. (2004).** Proyecto "Interacción Alimentación – Reproducción". Informe final 2003. Montevideo. Conaprole. Uruguay. 52 p

**D'Alessandro J., Barlocco N., Peinado R., Garín D. (1997).** Digestibilidad, balance nitrogenado y energía de granos de sorgo alto y bajo en taninos para cerdos. Disponible en: [http://www.fagro.edu.uy/~suinos/publicaciones/Congreso Binacional%20I-.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~suinos/publicaciones/Congreso_Binacional%20I-.pdf). Fecha de consulta: 15/03/07.

**de Blas C., Rebollar P. G., Mendez J. (1995).** Utilización de cereales en dietas de vacunos lecheros. XI Curso de Especialización FEDNA. Barcelona. España. Disponible en: [http:// www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/95CAP\\_II.pdf](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/95CAP_II.pdf) . Fecha de consulta: 15/03/07.

**DIEA (2007).** Anuario Estadístico Agropecuario. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Uruguay. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/diea/>. Fecha de consulta: 12/02/07.

**Duodu K. G., Taylor J. R. N., Belton P. S., Hamaker B. R. (2003).** Factors affecting sorghum protein digestibility. *J. of Cereal Sci*; 38: 117-131.

**Ekinci C., Broderick G. A. (1997).** Effect of Processing High Moisture Ear Corn on Ruminal Fermentation and Milk Yield. *J Dairy Sci*; 80: 3298-3307.

**Evers A. D., Blakeney A. B., Brien L. O. (1999).** Cereal structure composition. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 629-650.

**Firkins J. L., Eastridge M. L., St-Pierre N. R., Noftsker S. M. (2001).** Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci*; 79(E. Suppl.):E218–E238.

**Galyean L. M. (1997).** Laboratory Procedure in Animal Nutrition Research. Department of Animal and Food Sciences. Texas Tech University. Lubbock. Disponible en: [http://www.asft.ttu.edu/home/mgalyan/lab\\_man.pdf](http://www.asft.ttu.edu/home/mgalyan/lab_man.pdf). Fecha de consulta: 15/03/07.

**Goñi V., Oholeguy S. (2000).** Efecto del procesado y el contenido de taninos del grano de sorgo sobre la composición química y la digestión de la materia seca en rumiantes. Tesis de graduación. Facultad de Agronomía, UdelaR, Uruguay. p 40

**Guada J. A. (1993).** Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de proteína y almidón. IX curso de especialización FEDNA. Barcelona. España. Disponible en: <http://www.etsia.upm.es/fedna/publi.htm>. Fecha de consulta: 15/03/07.

**Herrera-Saldanha R. E., Huber J. T., Poore M. H. (1990).** Dry matter, crude protein and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci*; 73:2386-2393.

**Hibberd C. A., Wagner D. G., Schemm R. L., Mitchell E. D., Hintz R. L., Weibel D.E. (1982).** Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. *J. Anim. Sci.* 55:665-672.

**Hill T.M., Schmidt S.P., Russell R.W., Thomas E.E., Wolfe D.F. (1991).** Comparison of urea treatment with established methods of sorghum grain preservation and processing on site and extent of starch digestion by cattle. *J. Anim. Sci*; 69: 4570-4576.

**Huntington G.B. (1997).** Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci*; 75:852-867.

**Knowlton K. F., Glenn B. P., Erdman R. A. (1998).** Performance, Ruminal Fermentation, and Site of Starch Digestion in Early Lactation Cows Fed Corn Grain. Harvested and Processed Differently. *J. Dairy Sci*; 81: 1972-1984.

**Kucseva C. D., Balbuena O., Koza G. (2000).** Efecto del procesamiento del sorgo utilizado como suplemento sobre el pH ruminal y degradación in situ en bovinos. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. Disponible en: [www.inta.gov.ar/benitez/info/indices/tematica/alim](http://www.inta.gov.ar/benitez/info/indices/tematica/alim). Fecha de consulta: 15/03/07.

**Licitra G., Hernández T.M., Van Soest P.J. (1996).** Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci Technol*; 57: 347-358.

**McAllister T. A., Phillippe R. C., Rode L. M., Cheng K. J. (1993).** Effect of the Protein Matrix on the Digestion of Cereal Grain by Ruminant Microorganisms. *J. Anim. Sci*; 71: 205-212.

**McAllister T. A., Rode L. M., Major D. J., Cheng K. J., Buchanan-Smith J. G. (1990).** Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Can. J. Anim. Sci*; 70:571-577.

**Mitaru B.N., Reichert R. D., Blair R. (1984).** Kinetics of tannin deactivation during anaerobic storage and boiling treatment of high tannin sorghum. *J. Food Sci*; 49: 1566-1568.

**Montiel M. D. y Elizalde J. C. (2004).** Degradabilidad ruminal de silajes de grano húmedo de maíz y de sorgo con diferentes contenidos de taninos. Congreso Argentino de Producción Animal XXVII. Tandil. Disponible en: [www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/posters/27a/](http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/posters/27a/). Fecha de consulta: 15/03/07.

**Moron I. R., Teixeira J. C., Gomes De Oliveira A. I., Perez J. R., Silva E Oliveira J. (1999).** Kinetics of ruminal digestión of dry matter in corn and sorghum grains subjected to diferent forms of processing. *Cienc. e Agrotec*. 23:174-178.

**Nahara F. (2006).** Los taninos y el rumen. *Infortambo*. (Argentina) . 209: 62-63.

**Nozella E. F. (2001).** Dissertação (mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Brasil. Disponible en: [www2.unopar.br/pesq\\_arq/revista/BIOLOGICA/00000432.pdf](http://www2.unopar.br/pesq_arq/revista/BIOLOGICA/00000432.pdf)-. Fecha de consulta: 15/03/07.

**Offner A., Bach A., Sauvant D. (2003).** Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol*; 106: 81-93.

**Oliveira J. S., Huber J. T., Simas J. M., Theurer C. B., Swingle R. S. (1995).** Effect of Sorghum Grain Processing on Site and Extent of Digestion of Starch in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci*; 78: 1318-1327.

**Ørskov E.R., McDonald I. (1979).** The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to a rate of passage. *J. Agric. Sci. Camb*. 92: 499-503.

**Ortega M. E., Mendoza G., Aguirre S., Carranco M. E. (1998).** Tratamiento con formaldehído de maíz y sorgo, efecto sobre la degradabilidad de la materia seca, almidón y proteína bruta. *Invest. Agri. Prod. Sanid. Anim*; 13 (1, 2 y 3).

**Owens F.N., Secrist D.S., Hill W.J., Gill D.R. (1997).** The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci*; 75: 868-879.

**Owens F.N., Zinn R. A. (2005).** Corn Grain for Cattle: Influence of Processing on Site and Extent of Digestion. *Proc. Southwest Nutr. Conf*: 86-112.

**Passini R., Oliveira Borgatti L. M., Altieri Ferreira F., Mazza Rodrigues P. H. (2004).** Degradabilidade no rúmen bovino de grãos de milho processados de diferentes formas. *Pesq. agropec. bras.*, .39, (3), p.271-276.

**Philippeau C., Michalet-Doreau B. (1997).** Influence of Genotype and estage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. *Anim. Feed Sci Technol*; 68: 25-35.

**Philippeau C., Michalet-Doreau B. (1998).** Influence of Genotype and Ensiling of Corn Grain on In Situ Degradation of Starch in the Rumen. *J. Dairy Sci*; 81: 2178-2184.

**Poore M. H., Moore J. A., Eck T. P., Swingle R. S., Theurer C. B. (1993).** Effect of Fiber Source and Ruminal Starch Degradability on Site and Extent of Digestion In Dairy Cows. *J. Dairy Sci*; 76: 2244-2253.

**Price M.L., Butler L.G. (1978).** Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. *J. Agric. Food Chem*; 25:1268.

**Reed J. D. (1995).** Nutritional Toxicology of Tannins and Related Polyphenols in Forage Legumes. *J. Anim. Sci*; 73: 1516-1528.

**Reichert R. D., Fleming S. E., Schwab J. J. (1980).** Tanning deactivation and nutritional improvement of sorghum by anaerobic storage of H<sub>2</sub>O-, HCl-, or NaOH-treated grain. *J. Agric. Food Chem* ; 28: 824.

**Romero L., Comerón E., Bruno O., Castillo A., Gaggiotti M. (2000).** Silaje de grano húmedo de sorgo: efecto del contenido de taninos y el tratamiento con urea en la respuesta de vacas lecheras. *INTA Rafaela-Anuario 2000. Argentina.* Disponible en: [www.mejorpasto.com.ar/content/view/49/70/](http://www.mejorpasto.com.ar/content/view/49/70/). Fecha de consulta: 15/03/07.

**Russell R.W., Lin J. C. M., Tomas E. E., Mora E. C. (1988).** Preservation of high-moisture milo with urea: grain properties and animal acceptability. *J. Anim. Sci*; 66: 2131-2139.

**Russell R.W., Lolley J.R. (1989).** Deactivation of tannin in high tannin milo by treatment with urea. *J. Dairy Sci*; 72: 2427-2430.

**Taylor C. C., Allen M. S. (2005).** Corn Grain Endosperm Type and Brown Midrib 3 Corn Silage: Site of Digestion and Ruminal Digestion Kinetics in Lactating Cows. *J. Dairy Sci*; 88:1413–1424.

**Theurer C. B. 1986.** Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci*; 63: 1649-1662.

**Wang Y., Douglas G. B., Waghorn G. C., Barry T. N., Foote A.G. (1996).** Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. *J. of Agri. Sci*;126: 353-362.

**Wang Y., Douglas G. B., Waghorn G. C., Barry T. N., Foote A. G. and Purchas R. W. (1996).** Effect of condensed tannins upon the performance of lambs grazing *Lotus corniculatus* and lucerne (*Medicago sativa*).*J. Agric. Sci*; 126: 87-98.

24381